

ТЕПЛОВОЕ ПОЛЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР БЕЛАРУСИ

В.И. Зуй, М.С. Жук

Институт геохимии и геофизики НАН Беларуси

ул. Купревича, 7, 220141, Минск, Беларусь

E-mail: zui@igig.org.by

Описано тепловое поле геологических структур Беларуси. Рассмотрено распределение температуры на глубине 100 м. Выполнены новые определения плотности теплового потока. В отдельных случаях пересмотрены его значения, опубликованные ранее, в которых не учитывались приповерхностные искажения геотермического градиента. Изменчивость плотности теплового потока по разрезу отражена его несколькими интервальными значениями для большинства изученных скважин. Рассмотрена связь между распространением гранитоидов и бластомилонитов в верхней части кристаллического фундамента и наблюдаемой плотностью теплового потока. Показана связь радиогенной теплогенерации с плотностью теплового потока. Кратко изложены факторы, искажающие наблюдаемую плотность теплового потока в верхних интервалах разреза платформенного чехла, превалирующее значение при этом имеет фильтрация подземных вод, прежде всего в зоне активного водообмена.

ВВЕДЕНИЕ

Территория Беларуси в тектоническом плане представляет собой зону сочленения отличающихся по эволюции и глубинному строению крупных литосферных блоков – Фенноскандии, Сарматии и Волго-Уралии. Этот регион характеризуется многообразием структурных комплексов платформенного чехла и фундамента, что находит отражение в особенностях теплового поля. Земная кора Беларуси имеет блоковое строение. Наличие разновозрастных интрузий основного состава, пород, метаморфизованных в условиях гранулитовой фации, архейских и раннепротерозойских габброидов, интенсивная гранитизация и метаморфизм пород амфиболитовой фации являются особенностями строения кристаллического фундамента региона.

Нестационарное тепловое поле, существующее в массиве горных пород с учетом конвективной составляющей, в общем случае описывается трехмерным дифференциальным уравнением в частных производных (Зуй, 1984):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \rho c_{жрж} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right)$$

где λ_x , λ_y и λ_z – составляющие коэффициента теплопроводности вдоль координатных осей x , y и z ; T – температура; $c_{жрж}$ – объемная теплоемкость жидкости, заполняющей поровое пространство в горной породе; c_r – коэффициент объемной теплоемкости пористого пласта, насыщенного жидкостью; k – проницаемость горной породы (в общем случае может также быть функцией координат); P – давление; A – источники либо стоки тепла, в частности это может быть радиогенная теплогенерация; μ – динамическая вязкость пластовой жидкости, например нефти, зависящая от температуры. Для воды принимается $\mu = 1$. Заметим, что в уравнении опущен член, описывающий передачу тепла радиационным путем, он требует учета лишь при высоких температурах, обычно более 500 °С. В приведенном уравнении вектор скорости фильтрации

$$\bar{V} = \frac{k}{\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial P}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial P}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial z} \right),$$

\bar{V} – вектор скорости фильтрации, часто записываемый в виде $\bar{V} = V_x \bar{i} + V_y \bar{j} + V_z \bar{k}$. Здесь $\bar{i}, \bar{j}, \bar{k}$ – координатные орты осей Ox, Oy, Oz , а V_x, V_y, V_z – составляющие вектора относительно тех же осей. В подавляющем большинстве случаев задачи геотермии сводятся к рассмотрению стационарных тепловых полей, за исключением приповерхностных горизонтов, где явно ощутимо влияние распространения с земной поверхности вглубь годовых либо суточных колебаний температуры. Конвективным переносом тепла при изучении теплового потока в практических случаях пренебрегают.

При этом правая часть в приведенном уравнении $\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t}$ и конвективный член

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \bar{V} \cdot \text{grad} T$$

обращаются в нуль. Тогда в стационарном тепловом поле вектор плотности теплового потока, являющегося общепризнанной интегральной характеристикой теплового режима земных недр, остается только функцией координат:

$$\bar{q}(x, y, z) = \left[-\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} + \lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} + \lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right],$$

где $T, \lambda(x, y, z)$ – температура и коэффициент теплопроводности горных пород соответственно (Зуй, 1984).

Все три компоненты вектора теплового потока могут быть определены в специальных случаях, например при моделировании рефракции теплового потока, имеющей, в частности, место вблизи соляных диапиров и куполов. В подавляющем же большинстве изученных случаев преобладали вертикальные скважины. При этом было возможным изучение только вертикальной составляющей q_z , описываемой простым уравнением $q_z = q = -\lambda_z \cdot (dT/dz) = -\lambda_z \cdot \text{grad} T$. Ниже при описании плотности теплового потока и коэффициента теплопроводности будем понимать их значения в вертикальном направлении.

Интервальные значения отражают информацию о процессах, протекающих в глубоких горизонтах платформенного чехла и земной коры, с одной стороны, а также несут информацию о влиянии так называемых приповерхностных факторах в верхней части осадочных отложений – с другой. Параметры теплового поля тесно связаны с глубинными процессами, степенью раздробленности земной коры, ее блоковым строением, активностью глубинных разломов и зонами повышенной проницаемости горных пород, а также со степенью закрытости водоносных горизонтов, наличием перетоков между ними, активностью процессов фильтрации подземных флюидов в целом, глубиной проникновения годовых и вековых вариаций температуры земной поверхности и т. п. В последние годы изучение теплового поля платформенного чехла стимулируется интересом к разведке и практическому использованию возобновляемых ресурсов природного тепла – геотермальной энергии. Этими причинами вызвана необходимость детализация структуры и параметров теплового поля, в частности распределения температуры и плотности теплового потока в платформенном чехле Беларуси.

Наряду с распределением температуры в земных недрах, тепловыми свойствами горных пород, плотность теплового потока относится к важнейшим геофизическим характеристикам при изучении глубинного строения земной коры. В силу низкой

теплопроводности и температуропроводности горных пород, их объемной теплоемкости геотермическое поле на протяжении тысячелетий хранит информацию о зонах активизации блоков земной коры, в том числе и разделяющих их разломов, а сам тепловой поток является наиболее информативным параметром. В частности, он имеет выраженную связь с зонами нефтенакопления.

В последние годы в Беларуси выполнен большой объем работ по регистрации термограмм скважин в пределах основных геологических структур, детализированы и построены новые карты распределения температуры и плотности теплового потока. В результате были четче оконтурены ранее известные и выявлены новые геотермические аномалии (Урбан, Беляшов, 2003; Зуй, 2004; Урбан, Цыбуля, 2004; Zhuk et al., 2004; Zui, 2004; Зуй, 2005). Это позволило дать их более детальную интерпретацию и сопоставить полученные геотермические данные со строением геологических структур Беларуси.

ГЕОТЕРМИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ

Еще первые данные по распределению температуры в платформенном чехле (Протасеня, 1962₁₋₂; Богомолов, Протасеня, 1963) и сведения о плотности теплового потока (Протасеня, 1962₁; Богомолов, 1970; Богомолов и др., 1970, 1972) показали, что тепловое поле изучаемого региона имеет значительную неоднородность. Однако малое количество данных и их неравномерное распределение по площади не позволяли в шестидесятых и начале семидесятых годов прошлого столетия составить детальные геотермические карты региона и тем более четко проследить геотермические аномалии в пределах всей страны. В последующие годы накапливались данные по геотермической изученности практически всех геологических структур Беларуси: Белорусской антеклизы (Цыбуля, Жук, 1981, 1985; Жук, 1989₁; Зуй и др., 1991; Жук, Капора, 1993), Оршанской впадины (Bogomolov et al., 1982; Цыбуля, Урбан, 1984; Зуй и др., 1991), белорусской части Подляско-Брестской впадины (Цыбуля и др., 1988; Жук и др., 1989), Полесской седловины и Микашевичско-Житковичского выступа (Цыбуля и др., 1986; Зуй и др., 1993), Жлобинской седловины и западного склона Воронежской антеклизы (Зуй и др., 1991; Урбан, Беляшов, 2003). Наибольшее количество определений плотности теплового потока в этот период было выполнено в пределах Припятского прогиба (Атрощенко, 1975; Bogomolov et al., 1982; Цыбуля и др., 1984, 1985; Гордиенко, Завгородняя, 1985; Ходырева, 1987; Цыбуля, Левашкевич, 1990; Зуй и др., 1991, 1993; Жук и др., 1993; Zhuk et al., 2004). В результате проведенных исследований геотермическая изученность территории Беларуси значительно улучшилась как за счет новых данных, так и благодаря детальной обработке накопленных ранее геотермических измерений, выполненных в поисково-разведочных и гидрогеологических скважинах.

В ряде случаев были пересмотрены ранее приведенные в каталоге теплового потока его значения (Зуй и др., 1985, 1993) по отдельным скважинам. Начиная с середины 80-х годов прошлого столетия во многих скважинах было замечено, что в верхней части геологического разреза геотермический градиент плохо контролируется изменчивостью литологического состава напластования горных пород (Зуй и др., 1985). Это приводило к вертикальной изменчивости не только геотермического градиента, но и плотности теплового потока. В большинстве случаев происходит увеличение интервальных значений плотности теплового потока с ростом глубины. Поэтому в последующих публикациях для более полной геотермической характеристики начали приводить значения теплового потока для нескольких изученных интервалов глубины. Характерную же его величину для всей скважины определяли для нижних интервалов разреза, а при немонотонном изменении его с глубиной принимали среднее арифметическое значение. Наиболее надежные значения соответствуют глубоким скважинам, где влияние приповерхностных факторов, таких как фильтрация подземных вод, вариации палеоклимата, невелико. Однако большинство скважин глубиной 2–4 км сосредоточено в юго-восточной части

Беларуси – Припятском прогибе – и только немногие из них глубиной более 1000 м были изучены в Оршанской и Подляско-Брестской впадинах.

Геотермическая изученность территории Беларуси, распределение скважин и их глубина представлены на рис. 1, где показано местоположение скважин, в которых выполнены геотермические измерения, а длины вертикальных линий представляют глубины, достигнутые скважинным термометром при полевых измерениях. На схему вынесены границы основных геологических структур. Границы Припятского прогиба отмечены положением Северо-, Южно-Припятского разломов и разломами, ограничивающими Микашевичско-Житковичский выступ фундамента.

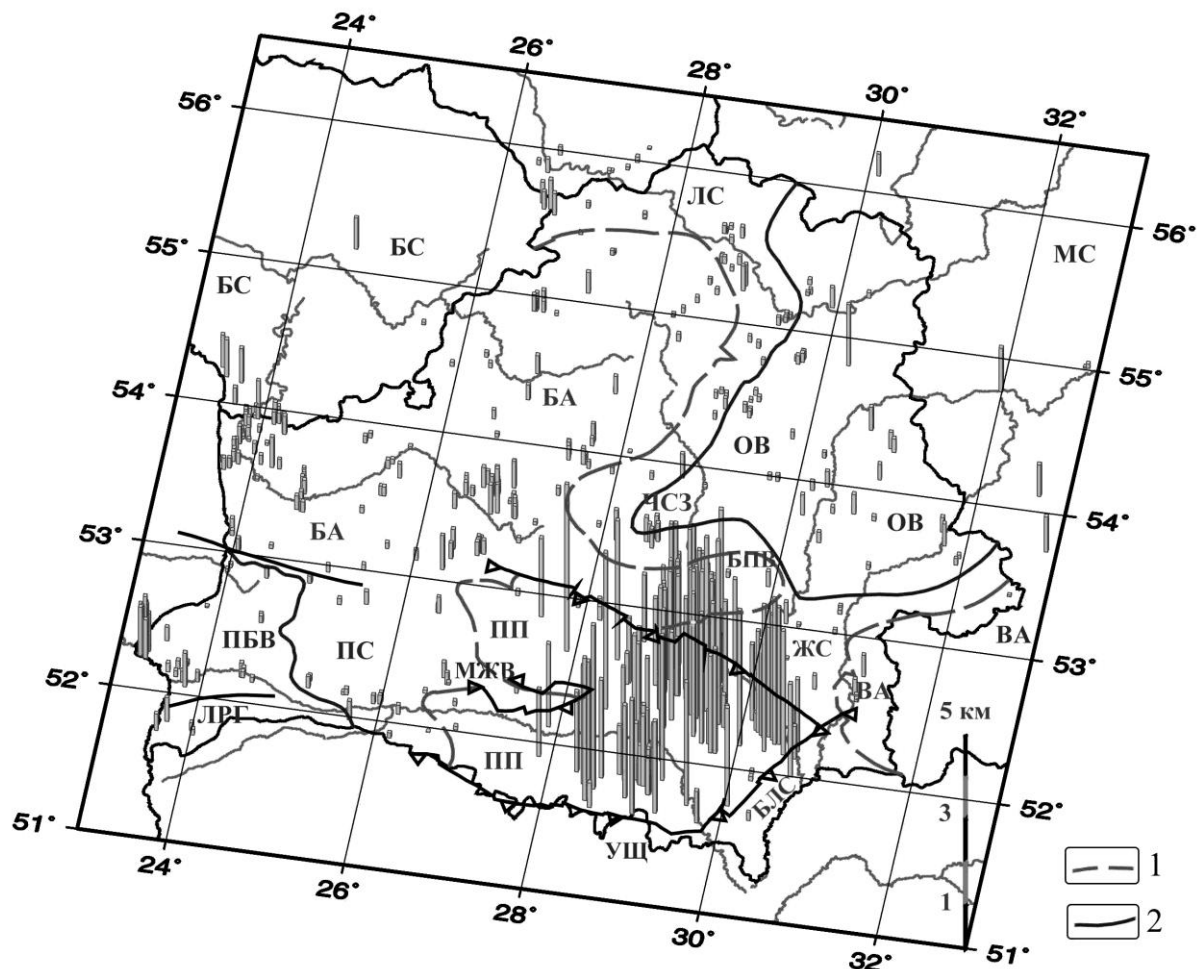


Рис. 1. Схема расположения и глубин изученных термическим методом скважин. 1 – границы положительных структур – Белорусской и Воронежской антеклиз; 2 – границы отрицательных структур – Подляско-Брестской и Оршанской впадин. Вертикальный масштаб приведен в правом нижнем углу схемы, а длины вертикальных линий в местах положения скважин изображают достигнутую термометром глубину. БА – Белорусская антеклиза; БЛС – Брагинско-Лоевская седловина; БПВ – Бобруйский погребенный выступ; БС – Балтийская синеклиза; ВА – Воронежская антеклиза; ЖС – Жлобинская седловина; ЛРГ – Луковско-Ратновский горст; ЛС – Латвийская седловина; МЖВ – Микашевичско-Житковичский выступ; МС – Московская синеклиза; ОВ – Оршанская впадина; ЧСЗ – Червенский структурный залив; ПБВ – Подляско-Брестская впадина; ПП – Припятский прогиб; ПС – Полесская седловина; УЩ – Украинский щит.

Изученные скважины расположены относительно равномерно в пределах территории Беларуси. Однако в подавляющем большинстве случаев в пределах Оршанской впадины, Белорусской антеклизы, Жлобинской и Полесской седловин, Воронежской антеклизы их глубина редко превышает 300–400 м. Наиболее плотная сеть изученных скважин находится в Припятском прогибе. В пределах Прибугской структуры на границе с Польшей геотермические измерения выполнены в десятках скважин, сосредоточенных на небольшой Прибугской площади (около 4×9 км), на остальной же территории Подляско-Брестской впадины лишь немногие скважины были доступны для измерений. На схеме

также показано положение нескольких изученных авторами скважин на территории Литвы, Латвии и России.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ГЛУБИНЕ 100 М

Наибольшее количество данных о распределении температуры можно получить по наиболее надежным термограммам (около 415) для глубины 100 м, зарегистрированным в скважинах Беларуси. Для построения карты распределения температуры на этой глубине использованы результаты собственных измерений температуры в скважинах, достигших теплового равновесия после завершения бурения; только единичные наиболее надежные производственные термограммы для районов, где отсутствуют другие измерения, дополнили использованный массив данных (Крапивенская в Смоленской области, Лаздияй в Литве, Дуниловичи в северной части Белорусской антеклизы). Остальные производственные термограммы по причине малой выстойки скважин до начала термометрических измерений и их невысокого качества не использовались. Они показывают, как правило, перегрев скважины на глубине 100 м по отношению к стационарной температуре окружающих горных пород.

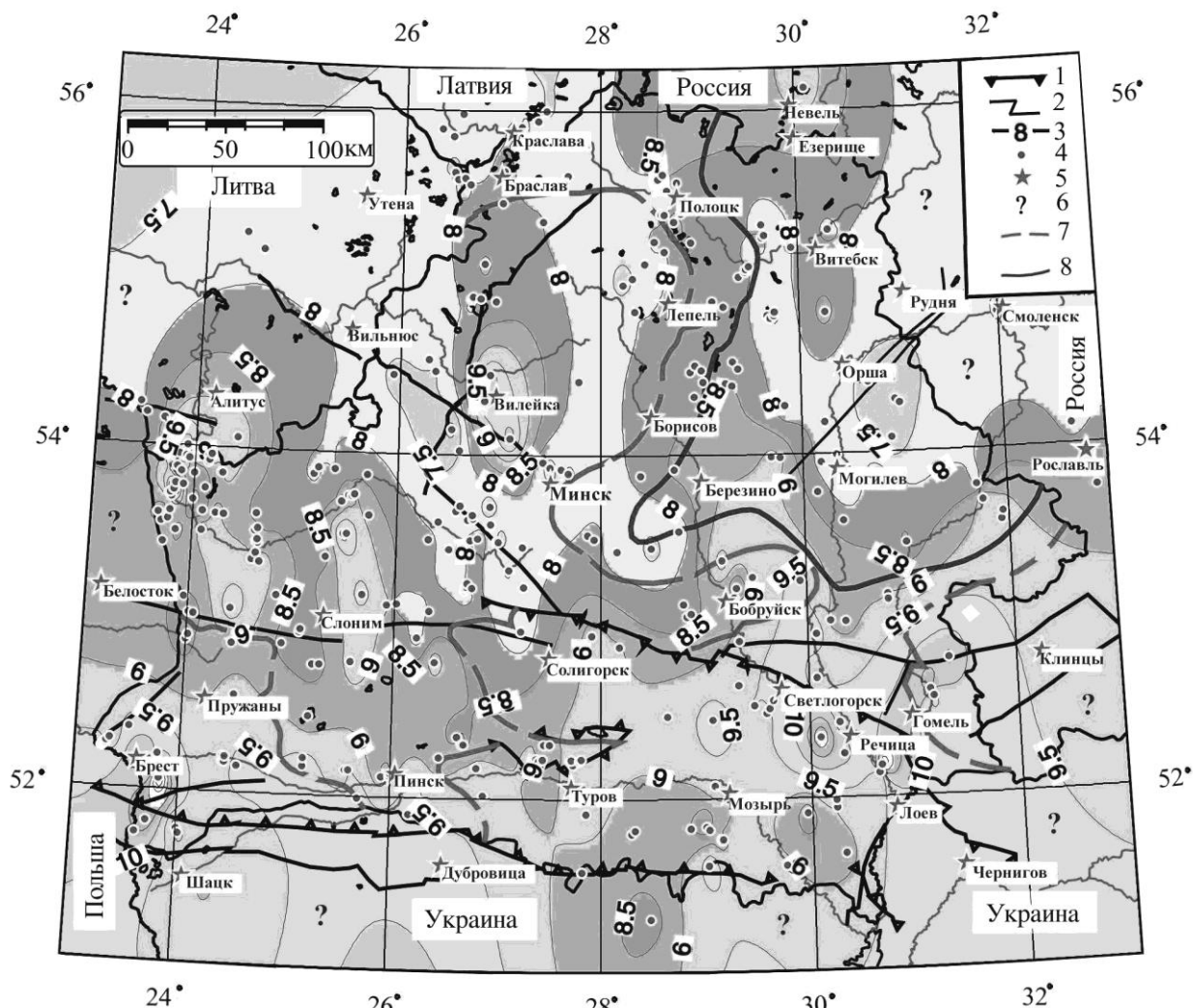


Рис. 2. Схема распределения температуры в пределах Беларуси и прилегающих структур на глубине 100 м. 1–2 – суперрегиональные и региональные разломы поверхности фундамента; 3 – изотермы, °С; 4 – изученные скважины; 5 – населенные пункты; 6 – слабо изученные зарубежные территории, где отсутствуют надежные термограммы; 7 – границы положительных структур – Белорусской и Воронежской антеклиз по изогипсе -500 м; 8 – границы Оршанской впадины по изогипсе -700 м.

Карта распределения температуры на глубине 100 м представлена на рис. 2. Для проведения изотерм был использован интервал 0,5 °С. Его величина вполне обоснована

(имеется в виду, что абсолютная погрешность использованных скважинных электротермометров составляла порядка $\pm 0,03$ °С). Положение этих скважин на карте показано кружками. Слабо изученными остаются Балтийская и Московская синеклизы, а также Латвийская седловина, прилегающие к границам Беларуси. Отсутствуют данные по смежным территориям – Днепровско-Донецкой впадине, Украинскому щиту, Луковско-Ратновскому горсту в Украине, польской части Подляско-Брестской впадины и Белорусской антеклизы.

Изотермы на карте за пределами Беларуси проведены путем экстраполяции, и их конфигурация требует уточнения. Температурное поле на глубине 100 м имеет контрастный вид. Здесь отчетливо прослеживаются региональные и локальные аномалии, в пределах которых температура изменяется в диапазоне 7,0–11,5 °С, разница между крайними значениями достигает 4,5 °С. Температура более 8 °С характерна для северной зоны Припятского прогиба и Подляско-Брестской впадины, где существуют положительные геотермические аномалии, а также для западного склона Воронежской антеклизы в пределах Беларуси. На конфигурацию изотерм в северной зоне Припятского прогиба накладывает отпечаток малое количество надежных термограмм, в верхних частях которых имелись бы достоверные данные по температуре на глубине 100 м. Главная ось этой аномалии ориентирована параллельно Северо-Припятскому бортовому разлому.

В Оршанской впадине выделена Восточно-Оршанская аномалия низких значений температуры 6,5–7,5 °С (Зуй, 2005) в треугольнике между городами Орша – Смоленск – Чериков. Она включает почти всю Могилевскую мульду, а ее продолжение в России проведено неуверенно из-за нехватки геотермических данных и требует последующего уточнения.

Западно-Оршанская аномалия повышенных значений температуры (от 8 °С в центральной части до 10,0–11,5 °С в южной части), ориентированная в меридиональном направлении, прослеживается от северной зоны Припятского прогиба через западную часть Оршанской впадины и восточный склон Белорусской антеклизы. До опубликования работы (Zui, 2004) она была недостаточно изучена и названа Центрально-Оршанской аномалией, однако последующие дополнительные данные показали, что она прослеживается по линии Речица – Светлогорск – Березино – Борисов – Лепель – Невель. В северной части она разветвляется от г. Езерище через Витебск и достигает широты Орши. Северное окончание аномалии в районе городов Езерище и Невель выделяется неуверенно, поскольку на российской территории изучена лишь одна скважина (санаторий «Голубые озера»). Аналогичная ситуация имеет место и в Беларуси.

В южной части этой полосы можно проследить локальную Бельничско-Чечевичско-Речицкую аномалию повышенной температуры (более 8,5 °С), вытянутую в меридиональном направлении. Она выделяется по 8 скважинам и на севере по изолинии 8 °С достигает широты Борисова. Эта аномалия отделяет восточный склон Белорусской антеклизы и Червенский структурный залив от основной части Оршанской впадины.

Западная часть Чашникско-Полоцкой аномалии пониженных значений температуры на долготе Полоцка соединяется с единой аномалией пониженной температуры на восточном склоне Белорусской антеклизы и в Червенском структурном заливе Оршанской впадины. В северном направлении она продолжается в пределах Латвийской седловины.

Изотерма 9,5 °С, окаймляющая восточную часть Подляско-Брестской впадины, прослеживается через Полесскую седловину на территории Украины. Брестская аномалия изолинией 9 °С соединяется через эту седловину с аномалией повышенной температуры в Припятском прогибе, далее она огибает Бельничско-Речицкую аномалию, охватывает западный склон Воронежской антеклизы и продолжается в пределах России. Еще одна – Гродненская аномалия повышенной температуры (более 9 °С) – вытянута в меридиональном направлении и достигает на севере белорусско-литовской границы.

Молодечненско-Нарочанская аномалия температуры более 8 °С ориентирована в меридиональном направлении. Она достигает на севере места сочленения границ Беларуси, Литвы и Латвии и разделяет аномалию пониженных значений температуры в Белорусской антеклизе на две части – аномалию на восточном склоне антеклизы и аномалию в центральной части антеклизы. Наконец, Ляховичско-Ельнинская аномалия повышенных значений (более 8 °С) также имеет меридиональное простирание.

ТЕПЛОВОЙ ПОТОК

В течение 2000–2006 гг. выполнены новые определения плотности теплового потока, представленные в таблице, а также пересмотренные в отдельных случаях ранее опубликованные рядом исследователей данные. Материалы представлены в формате, соответствующем требованиям Международной комиссии по тепловому потоку (Jessor et al., 1976). При этом опущены колонки, в которых отражены альтитуды, количество скважин в кусте, количество образцов, изученных по тепловым свойствам, год публикации, значения радиогенной теплогенерации. В таблицу включены лишь наиболее представительные из изученных интервалов глубины.

Приводимые ранее высокие значения плотности теплового потока (80–109 мВт/м²) в Припятском прогибе (Атрощенко, 1975), связанные с его фокусировкой в соляных куполах, пересмотрены в работе (Zhuk et al., 2004). Такое искажение для ядра купола по отношению к фоновому значению плотности ТП ниже купола для скважин Первомайская 1 и Речицкая 17 достигает 1,4 по (Цыбуля, Левашкевич, 1990). Значение потока ниже купола составляет для Первомайской площади 75 мВт/м². В других случаях опубликованные значения ТП были занижены из-за неучета влияния фильтрации вод. Такие определения были также пересмотрены в настоящей работе. Учтены определения потока польских (Майорович, Плева, 1982; Safanda et al., 2004), украинских (Бурьянов и др., 1985), литовских и белорусских (Sliapura, Rastenienė, 2000; Урбан, Цыбуля, 2004) исследователей в приграничных районах.

На основе имеющегося каталога (Зуй и др., 1993), работ (Урбан Беляшов, 2003; Zhuk et al., 2004; Зуй, 2005) и приведенных в таблице данных построена карта плотности теплового потока (рис. 3). Его распределение в значительной мере дифференцировано в пределах Беларуси. На фоне низких значений (менее 30–40 мВт/м²) выделяются положительные аномалии (более 50–70 мВт/м²) в Припятском прогибе и Подляско-Брестской впадине. Повышенные значения (40–50 мВт/м²) наблюдаются не только в пределах этих структур, но и в виде локальных аномалий в Белорусской антеклизе, южной части Оршанской впадины, на Северо-Припятском плече, в Жлобинской седловине и на западном склоне Воронежской антеклизы.

Значения теплового потока менее 30 мВт/м² формируют цепочку локальных аномалий, частично расположенных вдоль Вольно-Оршанско-Крестцовского палеопрогиба (Палеотектоника Белоруссии, 1983), однако, как правило, имеющих меридиональное простирание. Наибольшая из них по площади прослеживается от северной части Полесской седловины и Микашевичско-Житковичского выступа до северной части Белорусской антеклизы в направлении городов Ганцевичи – Несвиж. На широте Минска в направлении Бобруйска от нее ответвляется полоса, охватывающая Червенский структурный залив Оршанской впадины и Осиповичское поднятие. Низкие значения теплового потока (20–25 мВт/м²) наблюдаются в пределах Бобовнянского выступа фундамента Белорусской антеклизы.

Новые и исправленные определения плотности теплового потока

| №. | Код качества | Скважина | Координаты | | Интервал глубины, м | Количество отсчетов температуры | Градиент температуры, мК/м | Теплопроводность Вт/м·К | Тепловой поток мВт/м² | Изучено интервалов и их диапазон изменения потока | Ссылка* |
|-------|--------------|-------------|---------------|------------|---------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------|---------|
| | | | Широта, N | Долгота, E | | | | | | | |
| | | | (град., мин.) | | | | | | | | |
| BY001 | | Булавки | 55,35.1 | 28,46.7 | | 71 | | | 34 | 4 (15-34) | |
| A | ЕВАВНС | 41пл | 55,35.1 | 28,46.7 | 207--216 | 3 | 12.2 | 2.3 | 28 | 1 | 3 |
| B | ЕВАВНС | 41пл | 55,35.1 | 28,46.7 | 261--281 | 6 | 19.0 | 1.8 | 34 | 1 | 3 |
| BY002 | | Заскорки | 55,23.8 | 28,37.2 | | 43 | | | 30 | 3 (15-30) | |
| A | ЕВАВНС | 2пл | 55,23.8 | 28,37.2 | 75—90 | 4 | 12.7 | 1.6 | 20 | 1 | 3 |
| B | ЕВАВНС | 2пл | 55,23.8 | 28,37.2 | 210--220 | 3 | 13.0 | 2.3 | 30 | 1 | 3 |
| BY003 | | Нарочь | 54,54.9 | 26,42.7 | | 43 | | | 43 | 7 (25-43) | |
| A | ЕВАЗНС | 107пс | 54,54.9 | 26,42.7 | 350--390 | 5 | 11.5 | 3.7 | 43 | | 3 |
| B | ЕВАЗНС | 107пс | 54,54.9 | 26,42.7 | 390--420 | 4 | 9.0 | 4.8 | 43 | | 3 |
| BY004 | | Нарочь | 54,54.6 | 26,43.5 | | | | | 42 | 14 (14-42) | |
| A | ЕВАЗНС | 4 | 54,54.6 | 26,43.5 | 320--360 | | 14.2 | 2.9 | 41 | 1 | 3 |
| B | ЕВАЗНС | 4 | 54,54.6 | 26,43.5 | 360--517 | | 9.2 | 4.6 | 42 | 1 | 3 |
| C | ЕВАЗНС | 4 | 54,54.6 | 26,43.5 | 360--400 | | 12.2 | 2.8 | 34 | 1 | 4 |
| BY005 | | Нарочь | 54,54.3 | 26,47.9 | | 138 | | | 50 | 12 (32-52) | |
| A | ЕВАЗНС | 101пс | 54,54.3 | 26,47.9 | 390--515 | 26 | 15.6 | 2.8 | 44 | 1 | 3 |
| B | ЕВАЗНС | 101пс | 54,54.3 | 26,47.9 | 525--540 | 5 | 16.0 | 3.1 | 50 | 1 | 3 |
| C | ЕВАЗНС | 101пс | 54,54.3 | 26,47.9 | 205--285 | 17 | 29.4 | 1.78 | 52 | 1 | 4 |
| BY006 | | Нарочь | 54,54.3 | 26,47.8 | | 29 | | | 42 | 4 (30-42) | |
| A | ЕВАЗНС | 102пс | 54,54.3 | 26,47.8 | 150--200 | 6 | 15.4 | 2.7 | 42 | 1 | 3 |
| B | ЕВАЗНС | 102пс | 54,54.3 | 26,47.8 | 200--290 | 10 | 28.2 | 1.5 | 42 | 1 | 3 |
| BY007 | | Нарочь | 54,54.2 | 26,40.7 | | 82 | | | 41 | 7 (22-41) | |
| A | ЕВАЗНС | 1мв | 54,54.2 | 26,40.7 | 315--360 | 10 | 12.4 | 3.0 | 37 | 1 | 3 |
| B | ЕВАЗНС | 1мв | 54,54.2 | 26,40.7 | 360--410 | 11 | 8.6 | 4.8 | 41 | 1 | 3 |
| BY008 | | Вилейка | 54,29.1 | 26,52.9 | | 999 | | | 43 | 5 (40-45) | |
| A | ЕВАВНС | 15 | 54,29.1 | 26,52.9 | 320--360 | 999 | 16.3 | 2.6 | 42 | 1 | 3 |
| B | ЕВАВНС | 15 | 54,29.1 | 26,52.9 | 418--438 | 999 | 29.0 | 1.5 | 44 | 1 | 3 |
| BY009 | | Плещеницы | 54,25.4 | 27,46.9 | | 88 | | | 45 | 5 (21-45) | |
| A | ЕВАВНС | лг1 | 54,25.4 | 27,46.9 | 330--420 | 19 | 14.0 | 1.9 | 27 | 1 | 3 |
| B | ЕВАВНС | лг1 | 54,25.4 | 27,46.9 | 420--440 | 6 | 18.0 | 2.5 | 45 | 1 | 3 |
| BY010 | | Самоседовка | 54,25.3 | 29,01.2 | | 54 | | | 34 | 2 (31-36) | |
| A | ЕВАВНС | 36тл | 54,25.3 | 29,01.2 | 229--246 | 4 | 17.2 | 2.1 | 36 | 1 | 3 |
| B | ЕВАВНС | 36тл | 54,25.3 | 29,01.2 | 256--263 | 3 | 15.7 | 2.0 | 31 | 1 | 3 |
| BY011 | ЕВАГНС | Молодечно 1 | 54,18.1 | 26,50.6 | 360--375 | 3 | 11.0 | 4.0 | 44 | | 3 |
| BY012 | | Поречье | 53,57.5 | 24,09.5 | | 56 | | | 45 | 5 (29-48) | |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|-------------|---------|---------|----------|-----|------|------|----|-----------|---|
| A | EBAZHC | 18 | 53,57.5 | 24,09.5 | 200--225 | 2 | 19.2 | 2.1 | 40 | 1 | 3 |
| B | EBAZHC | 18и | 53,57.5 | 24,09.5 | 175--220 | 10 | 27.6 | 2.1 | 47 | 1 | 3 |
| C | EBAZHC | 18и | 53,57.5 | 24,09.5 | 270--280 | 3 | 18.0 | 2.5 | 45 | 1 | 3 |
| BY013 | | Привалка | 53,57.2 | 23,50.4 | | 21 | | | 55 | 3 (51-55) | |
| A | EBAFHB | 1 | 53,57.2 | 23,50.4 | 90--130 | 5 | 27.0 | 1.9 | 51 | 1 | 3 |
| B | EBAFHB | 1 | 53,57.2 | 23,50.4 | 200--300 | 3 | 30.4 | 1.8 | 55 | 1 | 3 |
| BY014 | | Привалка | 53,57.0 | 23,54.7 | | 56 | | | 49 | 3 (49-55) | |
| A | EBAZHC | 5 | 53,57.0 | 23,54.7 | 100--125 | 6 | 18.4 | 3.0 | 55 | 1 | 3 |
| B | EBAZHC | 5 | 53,57.0 | 23,54.7 | 215--260 | 9 | 18.2 | 2.7 | 49 | 1 | 3 |
| BY015 | | Поречье | 53,56.7 | 24,08.0 | | 63 | | | 48 | 5 (27-50) | |
| A | EBAZHC | 17 | 53,56.7 | 24,08.0 | 350--400 | 2 | 14.8 | 3.4 | 50 | 1 | 3 |
| B | EBAZHC | 17 | 53,56.7 | 24,08.0 | 400--450 | 2 | 14.6 | 3.3 | 48 | 1 | 3 |
| BY016 | | Привалка | 53,55.7 | 23,56.6 | | 28 | | | 45 | 3 (39-62) | |
| A | EBAZHC | 9 | 53,55.7 | 23,56.6 | 90--130 | 5 | 34.5 | 1.8 | 62 | 1 | 3 |
| B | EBAZHC | 9 | 53,55.7 | 23,56.6 | 230--260 | 4 | 15.5 | 2.5 | 39 | 1 | 3 |
| BY017 | ЕВАВНС | Поречье1 | 53,55 | 24,11 | 225--240 | | 15.1 | 3.25 | 49 | | 3 |
| BY018 | | Поречье | 53,54.5 | 24,09.1 | | 99 | | | 46 | 6 (29-46) | |
| A | ЕВАВНС | 12 | 53,54.5 | 24,09.1 | 355--435 | 17 | 13.0 | 3.4 | 44 | 1 | 3 |
| B | ЕВАВНС | 12 | 53,54.5 | 24,09.1 | 435--465 | 7 | 14.0 | 3.3 | 46 | 1 | 3 |
| BY019 | | Поречье | 53,54.4 | 24,07.9 | | 66 | | | 39 | 3 (38-42) | |
| A | ЕВАВНС | 14 | 53,54.4 | 24,07.9 | 150--215 | 14 | 20.0 | 2.1 | 42 | 1 | 3 |
| B | ЕВАВНС | 14 | 53,54.4 | 24,07.9 | 300--330 | 7 | 15.0 | 2.5 | 38 | 1 | 3 |
| BY020 | | Пивалка | 53,52.5 | 23,49.5 | | 127 | | | 53 | 5 (39-70) | |
| A | EBAFHB | 4 | 53,52.5 | 23,49.5 | 235--270 | 8 | 20.5 | 1.9 | 39 | 1 | 3 |
| B | EBAFHB | 4 | 53,52.5 | 23,49.5 | 345--380 | 8 | 22.0 | 2.3 | 59 | 1 | 3 |
| C | EBAFHB | 4 | 53,52.5 | 23,49.5 | 380--405 | 6 | 16.5 | 3.2 | 53 | 1 | 3 |
| BY021 | | Привалка | 53,51.1 | 23,52.1 | | 14 | | | 43 | 5 (31-54) | |
| A | EBAFHB | 3 | 53,51.1 | 23,52.1 | 100--150 | 3 | 14.6 | 2.1 | 31 | 1 | 3 |
| B | EBAFHB | 3 | 53,51.1 | 23,52.1 | 239--300 | 4 | 25.5 | 1.7 | 43 | 1 | 3 |
| BY022 | ЕВАВНС | Бершты оп3 | 53,50.9 | 24,16.3 | 250--450 | 41 | 13.8 | 3.3 | 45 | 1 | 3 |
| BY023 | | Грандичи | 53,44.6 | 23,48.2 | | 47 | | | 49 | 3 (49-53) | |
| A | ЕВАВНВ | 15 | 53,44.6 | 23,48.2 | 165--195 | 4 | 29.3 | 1.8 | 53 | 1 | 3 |
| B | ЕВАВНВ | 15 | 53,44.6 | 23,48.2 | 215--245 | 5 | 26.0 | 1.9 | 49 | 1 | 3 |
| BY024 | | Балесольное | 53,43.2 | 23,46.4 | | 54 | | | 44 | 3 (42-46) | |
| A | ЕВАВНВ | 1 | 53,43.2 | 23,46.4 | 135--175 | 9 | 20.0 | 2.1 | 42 | 1 | 3 |
| B | ЕВАВНВ | 1 | 53,43.2 | 23,46.4 | 285--295 | 3 | 19.0 | 2.4 | 46 | 1 | 3 |
| BY025 | | Гродно | 53,41.9 | 23,47.0 | | 59 | | | 48 | 3 (45-48) | |
| A | EBAZHB | 1 | 53,41.9 | 23,47.0 | 175--245 | 15 | 22.0 | 2.1 | 45 | 1 | 3 |
| B | EBAZHB | 1 | 53,41.9 | 23,47.0 | 280--295 | 4 | 21.0 | 2.3 | 48 | 1 | 3 |
| BY026 | | Столбцы | 53,41.8 | 26,55.0 | | 47 | | | 27 | 5 (22-27) | |
| A | EBAZHB | 490 | 53,41.8 | 26,55.0 | 260--320 | 4 | 8.7 | 2.5 | 22 | 1 | 3 |
| B | EBAZHB | 490 | 53,41.8 | 26,55.0 | 640--670 | 4 | 6.5 | 4.2 | 27 | 1 | 3 |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|----------|---------|---------|----------|-----|------|-----|----|-----------|---|
| BY027 | | Столбцы | 53,41.6 | 26,54.8 | | 70 | | | 27 | 6 (23-27) | |
| A | ЕВАЗНВ | 516 | 53,41.6 | 26,54.8 | 480--520 | 5 | 7.8 | 3.5 | 27 | 1 | 3 |
| B | ЕВАЗНВ | 516 | 53,41.6 | 26,54.8 | 570--630 | 7 | 8.0 | 3.4 | 27 | 1 | 3 |
| BY028 | | Околово | 53,38.8 | 26,44.4 | | 105 | | | 30 | 5 (23-30) | |
| A | ЕВАННВ | 5р | 53,38.8 | 26,44.4 | 320--430 | 22 | 8.0 | 3.5 | 28 | 1 | 3 |
| B | ЕВАННВ | 5р | 53,38.8 | 26,44.4 | 450--670 | 35 | 8.6 | 3.5 | 30 | 1 | 3 |
| BY029 | | Околово | 53,38.6 | 26,44.8 | | 43 | | | 28 | 4 (22-32) | |
| A | ЕВАННВ | 8р | 53,38.6 | 26,44.8 | 210-280 | 8 | 11.0 | 2.0 | 22 | 1 | 3 |
| B | ЕВАННВ | 8р | 53,38.6 | 26,44.8 | 330--390 | 7 | 8.0 | 3.5 | 28 | 1 | 3 |
| BY030 | | Околово | 53,38.5 | 26,45.3 | | 63 | | | 29 | 3 (20-29) | |
| A | ЕВАННВ | 9р | 53,38.5 | 26,45.3 | 165--190 | 6 | 8.0 | 2.5 | 20 | 1 | 3 |
| B | ЕВАННВ | 9р | 53,38.5 | 26,45.3 | 285--315 | 7 | 8.0 | 3.6 | 29 | 1 | 3 |
| BY031 | | Околово | 53,38.9 | 26,44.5 | | 53 | | | 31 | 5 (22-31) | |
| A | ЕВАННВ | 10р | 53,38.9 | 26,44.5 | 320--470 | 16 | 8.5 | 3.5 | 30 | 1 | 3 |
| B | ЕВАННВ | 10р | 53,38.9 | 26,44.5 | 470--500 | 4 | 9.3 | 3.3 | 31 | 1 | 3 |
| BY032 | | Шашки | 53,37.2 | 26,41.5 | | 45 | | | 26 | 5 (19-26) | |
| A | ЕВАЗНВ | 306 | 53,37.2 | 26,41.5 | 230--260 | 4 | 8.3 | 3.0 | 25 | 1 | 3 |
| B | ЕВАЗНВ | 306 | 53,37.2 | 26,41.5 | 350--522 | 12 | 6.9 | 3.8 | 26 | 1 | 3 |
| BY033 | | Гродно | 53,36.5 | 23,50.3 | | 56 | | | 41 | 3 (40-42) | |
| A | ЕВАЗНВ | 10 | 53,36.5 | 23,50.3 | 105--195 | 19 | 18.0 | 2.2 | 40 | 1 | 3 |
| B | ЕВАЗНВ | 10 | 53,36.5 | 23,50.3 | 215--270 | 12 | 19.5 | 2.1 | 41 | 1 | 3 |
| BY034 | | Рудьма | 53,36.5 | 26,24.5 | | 50 | | | 26 | 4 (21-26) | |
| A | ЕВАЗНВ | 25ж | 53,36.5 | 26,24.5 | 270--320 | 6 | 9.3 | 2.8 | 26 | 1 | 3 |
| B | ЕВАЗНВ | 25ж | 53,36.5 | 26,24.5 | 320--500 | 19 | 7.6 | 3.4 | 26 | 1 | 3 |
| BY035 | | Рудьма | 53,36.3 | 26,24.2 | | 33 | | | 25 | 3 (25-26) | |
| A | ЕВАЗНВ | 24ж | 53,36.3 | 26,24.2 | 120--180 | 7 | 12.3 | 2.0 | 25 | 1 | 3 |
| B | ЕВАЗНВ | 24ж | 53,36.3 | 26,24.2 | 210--320 | 12 | 7.1 | 3.5 | 25 | 1 | 3 |
| BY036 | | Рудьма | 53,36.3 | 26,28.7 | | 31 | | | 28 | 3 (23-28) | |
| A | ЕВАЗНВ | 26п | 53,36.3 | 26,28.7 | 130--180 | 6 | 11.4 | 2.0 | 23 | 1 | 3 |
| B | ЕВАЗНВ | 26п | 53,36.3 | 26,28.7 | 270--320 | 6 | 8.2 | 3.4 | 28 | 1 | 3 |
| BY037 | | Цидовичи | 53,46.7 | 23,53.2 | | 56 | | | 45 | 3 (43-51) | |
| A | ЕВАЗНВ | 6 | 53,46.7 | 23,53.2 | 95--175 | 17 | 24.1 | 2.0 | 48 | 1 | 3 |
| B | ЕВАЗНВ | 6 | 53,46.7 | 23,53.2 | 265--29 | 7 | 16.5 | 2.6 | 43 | 1 | 3 |
| BY038 | | Копаники | 53,34.4 | 23,54.2 | | 44 | | | 43 | 3 (31-44) | |
| A | ЕВАЗНВ | 26 | 53,34.4 | 23,54.2 | 100--135 | 8 | 13.5 | 2.3 | 31 | 1 | 3 |
| B | ЕВАЗНВ | 26 | 53,34.4 | 23,54.2 | 205--245 | 9 | 19.4 | 2.2 | 43 | 1 | 3 |
| BY039 | ЕВАЗНВ | Брюзги | 53,33.5 | 23,41.8 | 280--291 | 2 | 19.1 | 2.3 | 44 | | 3 |
| BY040 | | Шнипки | 53,31.4 | 24,36.6 | | 39 | | | 45 | 5 (32-53) | |
| A | ЕВАЗНВ | 8п | 53,31.4 | 24,36.6 | 215--235 | 5 | 9.0 | 3.5 | 32 | 1 | 3 |
| B | ЕВАЗНВ | 8п | 53,31.4 | 24,36.6 | 245--65 | 5 | 19.0 | 2.8 | 53 | 1 | 3 |
| C | ЕВАЗНВ | 8п | 53,31.4 | 24,36.6 | 305--325 | 5 | 12.0 | 3.5 | 42 | 1 | 3 |
| BY041 | | Столбцы | 53,30.8 | 26,47.6 | | 41 | | | 23 | 4 (17-26) | |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|-----------|---------|---------|----------|-----|------|-----|----|-----------|---|
| A | ЕВАЗНВ | 11 | 53,30.8 | 26,47.6 | 400--560 | 9 | 6.0 | 3.7 | 22 | 1 | 3 |
| B | ЕВАЗНВ | 11 | 53,30.8 | 26,47.6 | 560--720 | 10 | 6.5 | 3.6 | 23 | 1 | 3 |
| BY042 | | Столбцы | 53,30.0 | 26,43.4 | | 144 | | | 16 | 9 (13-25) | |
| A | ЕВАЗНВ | 07 | 53,30.0 | 26,43.4 | 400--565 | 34 | 6.0 | 2.5 | 15 | 1 | 3 |
| B | ЕВАЗНВ | 07 | 53,30.0 | 26,43.4 | 565--590 | 6 | 6.4 | 2.8 | 18 | 1 | 3 |
| C | ЕВАЗНВ | 07 | 53,30.0 | 26,43.4 | 655--755 | 21 | 6.5 | 2.5 | 16 | 1 | 3 |
| BY043 | | Турец | 53,30.2 | 26,18.9 | | 80 | | | 23 | 3 (20-27) | |
| A | ЕВАЗНВ | оп15 | 53,30.2 | 26,18.9 | 120--180 | 13 | 7.8 | 2.5 | 20 | 1 | 3 |
| B | ЕВАЗНВ | оп15 | 53,30.2 | 26,18.9 | 195--400 | 42 | 6.8 | 3.4 | 23 | 1 | 3 |
| BY044 | | Пуховщина | 53,29.8 | 27,00.0 | | 75 | | | 22 | 3 (20-22) | |
| A | ЕВАВНВ | 49п | 53,29.8 | 27,00.0 | 235--285 | 11 | 5.4 | 3.7 | 20 | | 3 |
| B | ЕВАВНВ | 49п | 53,29.8 | 27,00.0 | 290--10 | 25 | 6.0 | 3.6 | 22 | | 3 |
| BY045 | | Пуховщина | 53,29.6 | 26,59.9 | | 35 | | | 18 | 7 (17-23) | |
| A | ЕВАВНВ | 513 | 53,29.6 | 26,59.9 | 400--480 | 5 | 5.0 | 3.5 | 18 | 1 | 3 |
| B | ЕВАВНВ | 513 | 53,29.6 | 26,59.9 | 480--520 | 3 | 6.0 | 3.0 | 18 | 1 | 3 |
| C | ЕВАВНВ | 513 | 53,29.6 | 26,59.9 | 520--530 | 2 | 7.0 | 2.8 | 20 | 1 | 3 |
| BY046 | | Пуховщина | 53,29.3 | 27,00.0 | | 36 | | | 20 | 4 (17-20) | |
| A | ЕВАВНВ | 507 | 53,29.3 | 27,00.0 | 280--300 | 3 | 4.8 | 3.9 | 19 | 1 | 3 |
| B | ЕВАВНВ | 507 | 53,29.3 | 27,00.0 | 300--340 | 3 | 5.4 | 3.7 | 20 | 1 | 3 |
| BY047 | | Одельск | 53,23.5 | 23,44.8 | | 9 | | | 42 | 3 (33-42) | |
| A | ЕСАВНВ | 20п | 53,23.5 | 23,44.8 | 140--178 | 3 | 17.0 | 2.1 | 35 | | 6 |
| B | ЕСАВНВ | 20п | 53,23.5 | 23,44.8 | 160--178 | 3 | 20.0 | 2.1 | 42 | | 3 |
| BY048 | | Мосты | 53,20.7 | 24,38.7 | | 44 | | | 48 | 3 (48-50) | |
| A | ЕВАФНВ | 108 | 53,20.7 | 24,38.7 | 196--225 | 7 | 13.4 | 3.6 | 48 | 1 | 3 |
| B | ЕВАВНВ | 108 | 53,20.7 | 24,38.7 | 196--261 | 13 | 13.0 | 3.5 | 48 | 1 | 2 |
| BY049 | | Озераны | 53,15.2 | 29,56.0 | | 84 | | | 40 | 7 (27-52) | |
| A | ЕВАФНВ | 3 | 53,15.2 | 29,56.0 | 110--400 | 59 | 14.0 | | 36 | 1 | 2 |
| B | ЕВАФНВ | 3 | 53,15.2 | 29,56.0 | 190--235 | 10 | 21.5 | 2.1 | 45 | 1 | 3 |
| C | ЕВАФНВ | 3 | 53,15.2 | 29,56.0 | 255--395 | 9 | 9.6 | 4.2 | 40 | 1 | 3 |
| BY050 | | Несвиж | 53,15.1 | 26,42.5 | | 34 | | | 21 | 2 (20-21) | |
| A | ЕВАФНВ | 22 | 53,15.1 | 26,42.5 | 140--210 | 8 | 4.3 | 4.7 | 20 | 1 | 3 |
| B | ЕВАФНВ | 22 | 53,15.1 | 26,42.5 | 230--330 | 12 | 4.6 | 4.5 | 21 | 1 | 3 |
| BY051 | | Несвиж | 53,13.9 | 26,41.6 | | 40 | | | 22 | 4 (15-24) | |
| A | ЕВАФНВ | 14 | 53,13.9 | 26,41.6 | 140--180 | 5 | 6.7 | 2.4 | 16 | 1 | 3 |
| B | ЕВАФНВ | 14 | 53,13.9 | 26,41.6 | 290--390 | 11 | 4.5 | 4.8 | 22 | 1 | 3 |
| BY052 | | Несвиж | 53,13.6 | 26,41.5 | | 36 | | | 23 | 2 (23-25) | |
| A | ЕВАФНВ | 12 | 53,13.6 | 26,41.5 | 230--270 | 3 | 5.5 | 4.5 | 25 | 1 | 3 |
| B | ЕВАФНВ | 12 | 53,13.6 | 26,41.5 | 290--440 | 16 | 4.7 | 4.8 | 23 | 1 | 3 |
| BY053 | | Несвиж | 53,13.5 | 26,44.8 | | 36 | | | 23 | 4 (18-29) | |
| A | ЕВАФНВ | 18 | 53,13.5 | 26,44.8 | 110--140 | 4 | 9.0 | 2.0 | 18 | 1 | 3 |
| B | ЕВАФНВ | 18 | 53,13.5 | 26,44.8 | 300--350 | 6 | 5.0 | 4.5 | 23 | 1 | 3 |
| BY054 | | Несвиж | 53,13.4 | 26,41.0 | | 71 | | | 23 | 2 (22-24) | |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|-------------|---------|---------|----------|-----|------|-----|----|-----------|---|
| A | ЕВAFHB | 13 | 53,13.4 | 26,41.0 | 140--225 | 18 | 5.5 | 4.4 | 24 | 1 | 3 |
| B | ЕВAFHB | 13 | 53,13.4 | 26,41.0 | 230--360 | 27 | 4.5 | 4.8 | 22 | 1 | 3 |
| BY055 | | Щара | 53,12.0 | 26,10.0 | | 43 | | | 19 | 4 (18-20) | |
| A | ЕВAFHB | 226 | 53,12.0 | 26,10.0 | 129--150 | 8 | 10.0 | 2.0 | 20 | 1 | 3 |
| B | ЕВAFHB | 226 | 53,12.0 | 26,10.0 | 156--195 | 12 | 7.4 | 2.5 | 19 | 1 | 3 |
| BY056 | | Бобруйск | 53,10.2 | 29,17.4 | | 138 | | | 41 | 12(24-43) | |
| A | ЕВAFHB | 691 | 53,10.2 | 29,17.4 | 310--365 | 12 | 9.5 | 4.3 | 41 | 1 | 3 |
| B | ЕВAFHB | 691 | 53,10.2 | 29,17.4 | 605--640 | 8 | 12.9 | 3.2 | 41 | 1 | 3 |
| C | ЕВAFHB | 691 | 53,10.2 | 29,17.4 | 640--695 | 12 | 13.6 | 3.1 | 42 | 1 | 3 |
| BY057 | | Бобруйск | 53,07.9 | 28,48.1 | | 129 | | | 27 | 8 (20-27) | |
| A | ЕВAFHB | 726 | 53,07.9 | 28,48.1 | 520--540 | 5 | 8.5 | 3.2 | 27 | 1 | 3 |
| B | ЕВAFHB | 726 | 53,07.9 | 28,48.1 | 555--585 | 7 | 8.3 | 3.2 | 27 | 1 | 3 |
| C | ЕВAFHB | 726 | 53,07.9 | 28,48.1 | 625--645 | 5 | 9.5 | 2.8 | 27 | 1 | 3 |
| BY058 | | Глуша | 53,04.5 | 28,52.4 | | 95 | | | 27 | 5 (16-27) | |
| A | ЕВAFHB | 6646/2 | 53,04.5 | 28,52.4 | 280--315 | 8 | 9.7 | 2.8 | 27 | 1 | 3 |
| B | ЕВAFHB | 6646/2 | 53,04.5 | 28,52.4 | 315--490 | 36 | 9.3 | 2.9 | 27 | 1 | 3 |
| BY059 | | Свислочь | 53,01.8 | 24,07.2 | | 12 | | | 44 | 4 (21-44) | |
| A | ЕСAFHB | 105 | 53,01.8 | 24,07.2 | 250--275 | 2 | 13.2 | 2.7 | 36 | 1 | 3 |
| B | ЕСAFHB | 105 | 53,01.8 | 24,07.2 | 283--275 | 2 | 17.5 | 2.5 | 44 | 1 | 3 |
| BY060 | | Свислочь | 53,01.7 | 24,03.1 | | 58 | | | 42 | 5 (26-42) | |
| A | ЕСAFHB | 105/4 | 53,01.7 | 24,03.1 | 250--270 | 5 | 12.5 | 2.7 | 34 | 1 | 3 |
| B | ЕСAFHB | 105/4 | 53,01.7 | 24,03.1 | 270--305 | 8 | 17.0 | 2.5 | 42 | 1 | 3 |
| BY061 | | Камен. Мост | 52,52.5 | 24,26.4 | | 36 | | | 45 | 7 (29-45) | |
| A | ЕСABHB | 28 | 52,52.5 | 24,26.4 | 152--220 | 15 | 15.0 | 2.0 | 31 | 1 | 1 |
| B | ЕСABHB | 28 | 52,52.5 | 24,26.4 | 250--260 | 3 | 14.2 | 2.3 | 33 | 1 | 3 |
| C | ЕСABHB | 28 | 52,52.5 | 24,26.4 | 260--270 | 3 | 18.0 | 2.5 | 45 | 1 | 3 |
| BY062 | | Могилыцы | 52,46.9 | 25,35.5 | | 31 | | | 32 | 4 (27-34) | |
| A | ЕСABHB | 5 | 52,46.9 | 25,35.5 | 200--270 | 8 | 10.0 | 3.0 | 30 | 1 | 3 |
| B | ЕСABHB | 5 | 52,46.9 | 25,35.5 | 290--330 | 5 | 8.3 | 3.8 | 32 | 1 | 3 |
| BY063 | | Трухановичи | 52,43.5 | 24,29.0 | | 20 | | | 38 | 4 (34-38) | |
| A | ЕСAFHB | 2 | 52,43.5 | 24,29.0 | 170--190 | 3 | 17.5 | 2.0 | 35 | 1 | 3 |
| B | ЕСAFHB | 2 | 52,43.5 | 24,29.0 | 190--220 | 3 | 15.0 | 2.5 | 38 | 1 | 3 |
| BY064 | | Трилес | 52,37.7 | 26,44.9 | | 35 | | | 28 | 6 (21-29) | |
| A | ЕВАЗHB | 239 | 52,37.7 | 26,44.9 | 300--500 | 11 | 8.4 | 3.4 | 29 | 1 | 3 |
| B | ЕВАЗHB | 239 | 52,37.7 | 26,44.9 | 560--700 | 8 | 8.2 | 3.4 | 28 | 1 | 3 |
| BY065 | | Дрогичин | 52,30.8 | 25,42.3 | | 14 | | | 30 | 6 (27-31) | |
| A | ЕСABHB | 5 | 52,30.8 | 25,42.3 | 110--230 | 13 | 11 | 2.8 | 30 | 1 | 5 |
| B | ЕСABHB | 5 | 52,30.8 | 25,42.3 | 100--130 | 4 | 14.2 | 2.1 | 30 | 1 | 3 |
| C | ЕСABHB | 5 | 52,30.8 | 25,42.3 | 130--170 | 5 | 11.0 | 2.8 | 31 | 1 | 3 |
| BY066 | | Брилево | 52,12.4 | 24,24.1 | -- | 49 | | | 42 | 2 (36-57) | |
| A | ЕВABHB | 3 | 52,12.4 | 24,24.1 | 95--185 | 19 | 20 | 1.8 | 36 | 1 | 3 |
| B | ЕВABHB | 3 | 52,12.4 | 24,24.1 | 175--185 | 3 | 32 | 1.8 | 57 | 1 | 3 |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|--------|-------------|---------|---------|----------|----|------|------|----|-----------|---|
| BY067 | ЕВАВНВ | Брилево | 52,10.5 | 24,24.4 | 105--150 | 10 | 20 | 1.8 | 36 | | 3 |
| BY068 | | Чернавчицы | 52,12.2 | 23,47.2 | | 21 | | | 44 | 3 (39-56) | |
| А | ЕВАВНВ | 750 | 52,12.2 | 23,47.2 | 80--95 | 4 | 29.5 | 1.9 | 56 | 1 | 3 |
| В | ЕВАВНВ | 750 | 52,12.2 | 23,47.2 | 95--105 | 3 | 20.5 | 1.9 | 39 | 1 | 3 |
| BY069 | ЕВАВНВ | Брилево 4 | 52,12.2 | 24,25.6 | 100--155 | 12 | 26 | 1.8 | 47 | | 3 |
| BY070 | ЕВАВНВ | Брилево 7 | 52,10.4 | 24,25.5 | 125--150 | 6 | 17.6 | 1.8 | 32 | | 3 |
| BY071 | | Гирск | 52,09.2 | 24,32.4 | | 4 | | | 26 | 2 (25-27) | |
| А | ЕВАВНВ | 6 | 52,09.2 | 24,32.4 | 50--75 | 2 | 14.0 | 1.9 | 27 | 1 | 3 |
| В | ЕВАВНВ | 6 | 52,09.2 | 24,32.4 | 75--123 | 2 | 12.7 | 2.0 | 25 | 1 | 3 |
| BY072 | | Брест | 52,07.1 | 23,41.5 | | 30 | | | 55 | 2 (40-55) | |
| А | ЕВАЗЗС | 753 | 52,07.1 | 23,41.5 | 105--135 | 7 | 20.9 | 1.9 | 40 | 1 | 3 |
| В | ЕВАЗЗС | 753 | 52,07.1 | 23,41.5 | 140--150 | 3 | 28.9 | 1.9 | 55 | 1 | 3 |
| BY073 | | Бульково | 52,06.4 | 23,56.5 | | 42 | | | 45 | 6 (34-45) | |
| А | ЕСАФНВ | 19 | 52,06.4 | 23,56.5 | 195--205 | 3 | 18.7 | 2.0 | 37 | 1 | 3 |
| В | ЕСАФНВ | 19 | 52,06.4 | 23,56.5 | 215--220 | 2 | 18.2 | 2.5 | 45 | 1 | 3 |
| С | ЕСАФНВ | 19 | 52,06.4 | 23,56.5 | 54--181 | 26 | 18 | 2.0 | 37 | 1 | 1 |
| BY074 | | Бульково | 52,06.3 | 23,56.5 | | 49 | | | 28 | 7 (19-35) | |
| А | ЕСАФНВ | 12 | 52,06.3 | 23,56.5 | 180--205 | 6 | 10.5 | 2.7 | 28 | 1 | 3 |
| В | ЕСАФНВ | 12 | 52,06.3 | 23,56.5 | 205--225 | 5 | 10.9 | 2.5 | 27 | 1 | 3 |
| С | ЕСАФНВ | 12 | 52,06.3 | 23,56.5 | 54--181 | 27 | 17 | 2.0 | 33 | 1 | 1 |
| BY075 | ЕВАЗНС | Алеся | 51,59.4 | 25,41.8 | | 95 | | | 30 | 8 (23-40) | |
| А | ЕВАЗНС | 1 | 51,59.4 | 25,41.8 | 260--310 | 11 | 11.7 | 2.6 | 30 | 1 | 3 |
| В | ЕВАЗНС | 1 | 51,59.4 | 25,41.8 | 310--465 | 32 | 10.7 | 2.7 | 29 | 1 | 3 |
| BY076 | | Берестье | 51,48.9 | 23,42.5 | | 60 | | | 45 | 7 (25-45) | |
| А | ЕВАЗНВ | 4 | 51,48.9 | 23,42.5 | 270--310 | 5 | 22.3 | 2.0 | 45 | 1 | 3 |
| В | ЕВАЗНВ | 4 | 51,48.9 | 23,42.5 | 420--450 | 4 | 28.1 | 1.6 | 45 | 1 | 3 |
| BY077 | | Малорита | 51,46.4 | 24,00.4 | | 11 | | | 46 | 4 (30-46) | |
| А | ЕЕАЗЗС | 1а | 51,46.4 | 24,00.4 | 140--180 | 3 | 19.3 | 1.9 | 37 | 1 | 3 |
| В | ЕЕАЗЗС | 1а | 51,46.4 | 24,00.4 | 180--199 | 3 | 18.6 | 2.5 | 46 | 1 | 3 |
| BY078 | ЕВАЗНС | Малорита 1г | 51,44.7 | 24,01.4 | 100--199 | 8 | 17.7 | 2.15 | 38 | 1 | 3 |
| BY079 | | Домачево | 51,44.6 | 23,36.9 | | 54 | | | 44 | 7 (31-45) | |
| А | ЕВАЗНВ | 1 | 51,44.6 | 23,36.9 | 380--400 | 3 | 16.6 | 2.7 | 45 | 1 | 3 |
| В | ЕВАЗНВ | 1 | 51,44.6 | 23,36.9 | 411--421 | 2 | 26 | 1.7 | 44 | 1 | 3 |
| BY080 | ЕВАФНВ | Жабинка 7 | 52,12.1 | 24,02.8 | 80--189 | 13 | 21.6 | 2.0 | 43 | 1 | |

Примечание. * 1 – Жук М.С., Зуй В.И., Козел В.П. Тепловой поток Подляско-Брестской впадины и сопредельных структур // Докл. АН БССР. 1989. Т. 33, № 3. С. 257–260; 2 – Зуй В.И., Жук М.С., Козел В.П. Каталог теплового потока Белоруссии // Сейсмологические и геотермические исследования на западе СССР. Мн., 1993. С. 220–229; 3 – Урбан Г.И., Цыбуля Л.А. Тепловой поток Балтийской синеклизы. М., 2004; 4 – Цыбуля Л.А., Жук М.С., Козел В.П. Тепловой поток Полесской седловины и Микашевичско-Житковичского выступа // Белоруссия: проблемы региональной геологии. Мн.: БелНИГРИ, 1986. С. 167–172; 5 – Цыбуля Л.А., Жук М.С. Тепловой поток Белорусской антеклизы // Докл. АН БССР. 1985. Т. 29, № 8. С. 731–734; 6 – Цыбуля Л.А., Урбан Г.И., Козел В.П. Тепловой поток в Подляско-Брестской впадине и его геологическая интерпретация // Геологический журнал. 1988. № 5. С. 72–76.

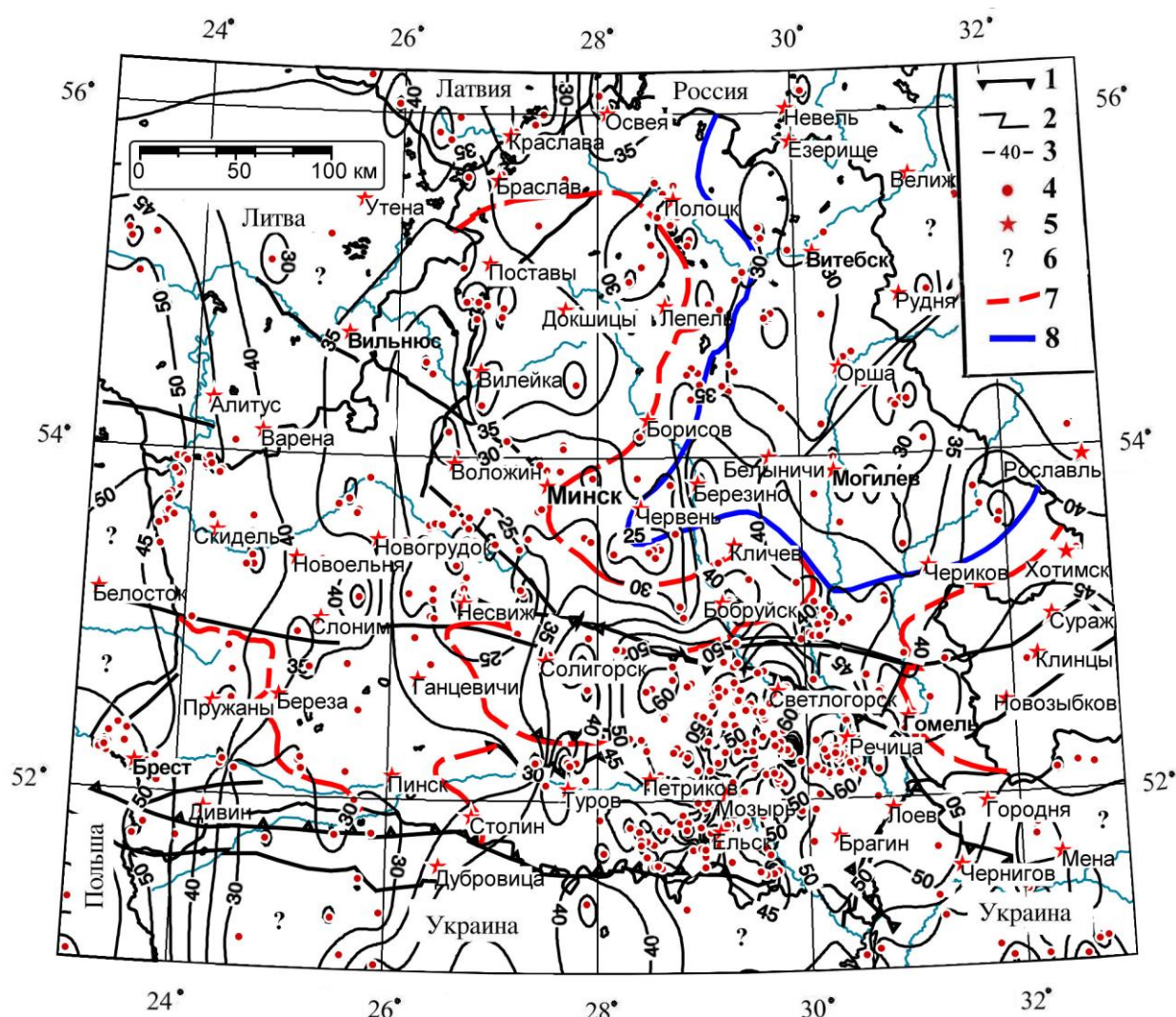


Рис. 3. Карта плотности теплового потока Беларуси, мВт/м^2 . 3 – изолинии плотности теплового потока. Остальные условные обозначения см. на рис. 2.

Вторая меридионально ориентированная аномалия низкого теплового потока выделена по 10 скважинам в западной части Оршанской впадины. Она прослеживается между городами Могилев и Невель. Еще одна узкая цепочка локальных аномалий – между городами Чериков и Орша. В северо-восточной части Белорусской антеклизы по 7 скважинам выделена аномалия низкого теплового потока изометричной формы несколько западнее линии Лепель – Полоцк, большая ось которой также направлена на север. Аналогичная аномалия изображена возле рамки карты, выделенная по 5 скважинам на территории Латвийской седловины за пределами Беларуси. Наконец, в крайней юго-восточной части Подляско-Брестской впадины южнее линии Дивин – Пинск по 3 скважинам выделено северное окончание аномалии теплового потока менее 30 мВт/м^2 , имеющей меридиональное простирание. На территории Украины она подтверждается данными по 6 скважинам.

Вдоль северо-западного и юго-восточного краев Волыно-Оршанско-Крестцовского палеопрогиба в его периферийных зонах отмечаются небольшие локальные аномалии плотности теплового потока (до $50\text{--}60 \text{ мВт/м}^2$). Масштаб карты (см. рис. 3) затрудняет их изображение. Они обычно приурочены к раннепротерозойским гранитоидным массивам (Житковичский горст, Мостовский, Выгодский, Марцинконисский и другие массивы) в центральной части Белорусской антеклизы (Цыбуля, 1984; Жук, 1989).

Наиболее высокий тепловой поток в пределах региона наблюдается в северо-восточной и восточной частях Припятского прогиба. Его значение достигает $60\text{--}70 \text{ мВт/м}^2$ (Zhuk et

al., 2004), а в пределах Березинской, Шатилковской, Первомайской и Озерщинской структур оно превышает 75 мВт/м^2 . Аналогичные высокие значения отмечаются и в пределах Красносельской, Речицкой, Барсуковской структур. В южной зоне прогиба плотность ТП изменяется от 25 до 60 мВт/м^2 . Здесь отмечается цепочка локальных аномалий, оконтуренных изолинией 50 мВт/м^2 , вытянутых вдоль Южно-Припятского краевого разлома.

В Подляско-Брестской впадине значение потока изменяется от 35 до 60 мВт/м^2 (Цыбуля и др., 1988; Жук и др., 1989). В направлении периферии впадины происходит его убывание до $30\text{--}40 \text{ мВт/м}^2$. Изолиния 40 мВт/м^2 объединяет положительные аномалии во впадине и центральной части Белорусской антеклизы в окрестностях Гродно. Ее северное продолжение на территории Литвы изучено недостаточно. Возможно, оно соединяется с аномалией высокого теплового потока в западной Литве и Калининградской области (Hurtig, 1991/1992). В пределах западного склона Воронежской антеклизы плотность потока превышает 40 мВт/м^2 .

Вопреки ожидавшемуся направлению обширных аномалий температуры и плотности теплового потока вдоль оси Волыно-Оршанско-Крестцовского палеопрогиба, они распадаются на несколько меньших по площади аномалий, ориентированных в меридиональном направлении, что может свидетельствовать, в частности, о повышенной проницаемости земной коры вдоль Одесско-Беломорской зоны разломов. В пределах Беларуси здесь выделен Чашникский разлом фундамента и Хойникский разлом в платформенном чехле в Припятском прогибе.

Повышенные значения температуры и плотности теплового потока выходят за северный краевой разлом Припятского прогиба и прослеживаются в меридиональном направлении через Северо-Припятскую ступень, восточную часть Бобруйского погребенного выступа и далее в западной части Оршанской впадины и на восточном склоне Белорусской антеклизы вплоть до широты г. Невель (Россия). В южной части этой аномалии значения плотности теплового потока выше, чем в северной. По мере приближения к северному борту Припятского прогиба происходит увеличение плотности потока до значений более $40\text{--}50 \text{ мВт/м}^2$.

МАССИВЫ ГРАНИТОИДОВ И БЛАСТОМИЛОНИТОВ И НАБЛЮДАЕМЫЙ ТЕПЛОВОЙ ПОТОК

В строении кристаллического фундамента Беларуси выделяются массивы гранитоидов разного возраста и состава, пояса бластомилонитов, гнейсы и другие породы. Имеет смысл сравнить площадное распространение массивов кислых пород, в частности поясов гранитоидов и бластомилонитов, вытянутых вдоль глубинных разломов, выявленных в кристаллическом фундаменте, с распределением плотности теплового потока.

Как известно, в массивах кислых пород, по сравнению с толщами пород основного состава, концентрация долгоживущих изотопов – урана, тория и калия, вносящих основной вклад в значение радиогенной теплогенерации, значительно выше. Для выяснения связи структуры теплового потока с распространением массивов гранитоидов в пределах Беларуси составлена карта (рис. 4), на которой гранитоиды показаны без разделения их на отдельные типы и комплексы. Данные по распространению гранитоидных массивов и бластомилонитов заимствованы из карты кристаллического фундамента (Карта ..., 2002).

Следует отметить, что в пределах Оршанской впадины кристаллический фундамент изучен лишь немногими скважинами. Выделение массивов гранитоидов выполнено по магнитным аномалиям. Основные полосы бластомилонитов выявлены в пределах Белорусско-Прибалтийского гранулитового пояса в западной и северо-западной частях Беларуси. В восточной части изучаемой территории выявлен лишь один массив бластомилонитов, приуроченный к Чашникскому разлому, а в северной части региона –

полоса между Браславом и Освеей с включением цепочки небольших массивов гранитоидов.

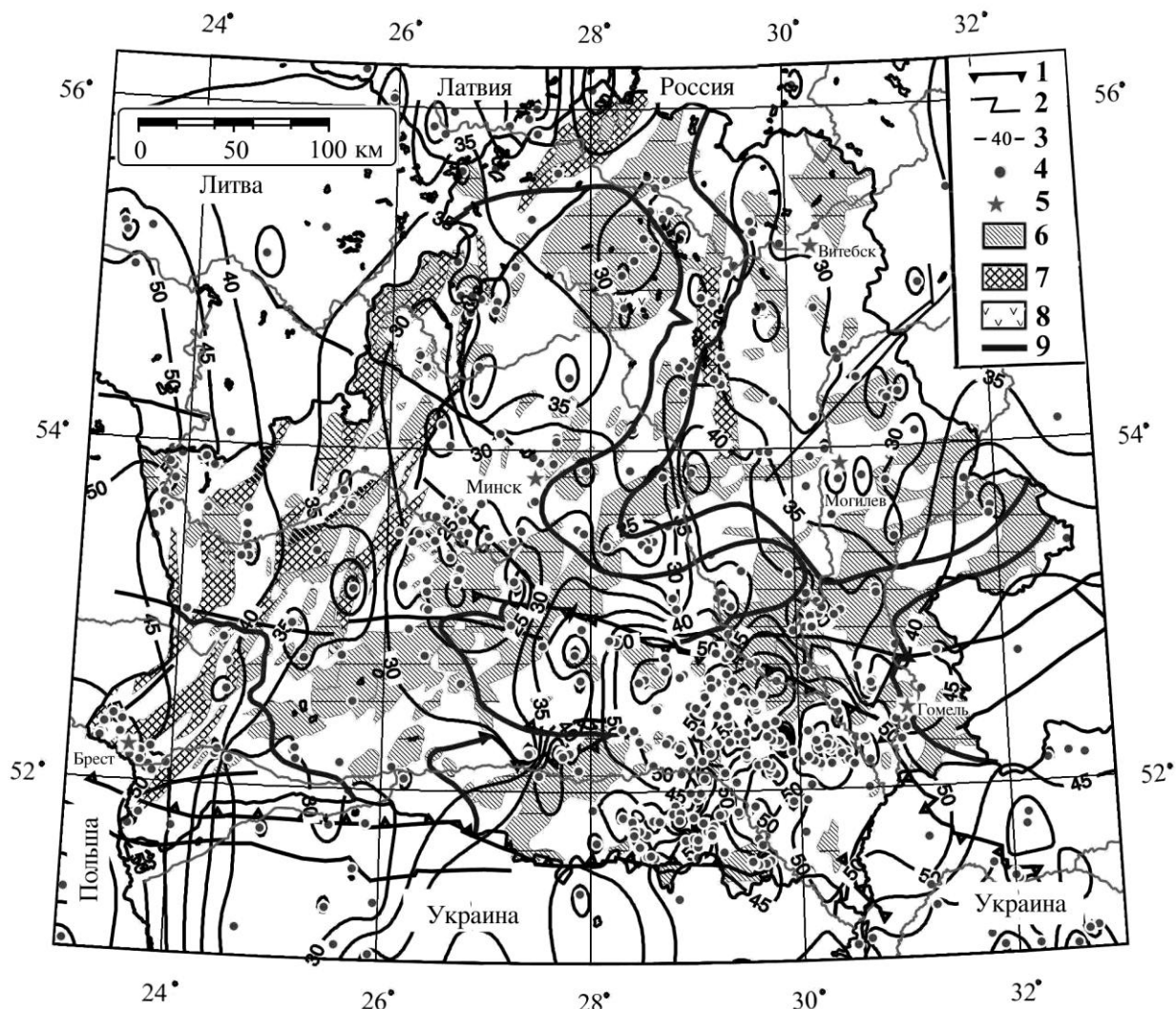


Рис. 4. Сопоставление схемы распределения плотности теплового потока, мВт/м², с гранитоидными массивами (6) и поясами бластомилонитов (7) в пределах Беларуси; 8 – гнейсы; 9 – границы основных структур. Остальные условные обозначения см. на рис. 2.

В пределах Подляско-Брестской впадины и прилегающей части Белорусской антеклизы – между Малоритой и Новоельской – зона с плотностью теплового потока более 40 мВт/м² удовлетворительно согласуется с направлением поясов бластомилонитов и немногочисленных массивов гранитоидов, далее она окаймляет Мостовский и Выгодский массивы гранитоидов и трассируется на территорию Литвы. В приграничной же с Польшей полосе Подляско-Брестской впадины, оконтуренной изолинией 50 мВт/м², такое соответствие хотя и имеет место, однако эта изолиния сечет полосы бластомилонитов. Видимо, здесь сказывается влияние переноса тепла фильтрующимися подземными водами из прилегающих частей Белорусской антеклизы и Луковско-Ратновского горста во впадину. Подтверждением тому является развитая здесь зона пресных вод до глубины 1000–1100 м в районе Бреста в полосе, прилегающей к белорусско-польской границе (Станкевич, 2004).

В районе озера Нарочь в скважинах Нарочь 101пс, 102пс, пробуренных в пределах полосы бластомилонитов, отмечено несколько повышенное значение потока (до 50 мВт/м²) по сравнению со скважинами, пробуренными западнее в санаториях «Белая Русь» и «Строитель» (41–43 мВт/м²). Видимо, это свидетельство некоторой тектонотермальной активизации, имевшей место вдоль глубинного разлома, пересекающего акваторию озера Нарочь.

В центральной части Беларуси не наблюдается четко выраженной корреляции между распространением массивов гранитоидов и тепловым потоком. Видимо, мощность выделенных здесь гранитоидных массивов незначительна и они не могут оказать заметного влияния на его увеличение. Так, в районе Ганцевичей, Несвижа, Минска, Воложина плотность теплового потока, как правило, не превышает 30 мВт/м^2 . Аналогичная ситуация имеет место и на территории между Вилейкой и Вильнюсом.

Массив бластомилонитов с цепочкой гранитоидов в северной части Беларуси между Браславом и Освеей находит отражение в несколько повышенном тепловом потоке в скв. Шкяуне, расположенной практически на белорусско-латвийской границе со стороны Латвии. Однако в геотермическом плане эта территория слабо изучена по обе стороны границы.

Гранитоидный массив, расположенный между Светлогорском и Бобруйском, отчетливо отражается в повышении плотности теплового потока до значений более 40 мВт/м^2 , которые прослеживаются на север до широты г. Борисов и далее до российско-белорусской границы на траверсе г. Невель. Однако на участке от Борисова до границы с Россией плотность теплового потока снижается до $30\text{--}35 \text{ мВт/м}^2$. Пространственно этот участок относительно повышенного потока включает и выделенный здесь массив бластомилонитов. В остальной части Оршанской впадины практически не отмечается связи плотности теплового потока с изображенными на карте массивами гранитоидов. Следует еще раз подчеркнуть, что изучена Оршанская впадина как по строению фундамента, так и по тепловому потоку значительно хуже, чем соседние структуры.

Наконец, отметим, что наблюдается удовлетворительная корреляция между повышенным тепловым потоком (более 40 мВт/м^2) и положением массивов гранитоидов в пределах западного склона Воронежской антеклизы (восточнее линии Гомель – Чериков), заходящего на территорию Беларуси. В итоге можно отметить, что связь распространения массивов гранитоидов и бластомилонитов с наблюдаемой плотностью теплового потока неоднозначна. Там, где мощность гранитоидов выше, а их возраст моложе, наблюдается повышение плотности теплового потока за счет влияния повышенной радиогенной составляющей. В границах их маломощных толщ это влияние практически не ощущается.

ТЕПЛОВОЙ ПОТОК И РАДИОГЕННАЯ ТЕПЛОГЕНЕРАЦИЯ

Тепловой поток, наблюдаемый у земной поверхности, формируется из его части, поступающей в подошву земной коры из верхней мантии (редуцированный тепловой поток), и составляющей, генерируемой в земной коре за счет радиогенной теплогенерации, которая возникает при распаде в основном радиоактивных изотопов – урана, тория, радия и калия. Вклад последней в тепловой поток для большинства блоков земной коры в областях стационарного теплового режима может достигать $40\text{--}70 \%$ (Смыслов и др., 1979). Наоборот, сильно эродированные блоки коры с малой мощностью гранито-гнейсового слоя, характеризуются низкими и весьма низкими значениями коровой составляющей потока.

В пределах изучаемого региона были проведены исследования по радиогенной теплогенерации пород кристаллического фундамента, вскрытых бурением (Жук, 1989; Sliupa, Rasteniene, 2000; Лосева и др., 2005), включая и отдельные скважины, где имеются данные по тепловому потоку. На основе статистически обработанных радиологических и геофизических данных по Белорусской антеклизе установлено, что тепловыделение A (мкВт/м^3) кристаллического фундамента связано с гамма-активностью γ (пА/кг) соотношением $A = 1,17 \gamma + 0,16$ (Жук, 1989). Эта зависимость получена при анализе гамма-активности по более чем 380 скважинам антеклизы, вскрывшим кристаллический фундамент. Радиогенная теплогенерация имеет прямую связь с плотностью теплового потока. Большим значениям A соответствует больший тепловой поток и наоборот.

Низким значениям потока (менее 20–30 мВт/м²) в блоках земной коры с повышенной основностью пород (Барановичский, Клецкий блоки, Околовская грабен-синклиналь) (Веришко, Шитц, 1981) соответствует низкая теплогенерация. В них имели место процессы базификации и эрозии земной коры. Повышенные значения потока (более 40–60 мВт/м²) характерны для областей преимущественного распространения амфиболит-гнейсового комплекса пород в центральной и юго-восточной частях Беларуси, а также в гранитоидных массивах Марцинконисский, Мостовский, Выгодский и других. В зонах бластомилонитов также наблюдаются в целом повышенные значения теплогенерации.

Для Белорусской антеклизы величина наблюдаемого теплового потока связана с радиогенной теплогенерацией A зависимостью $ТП = 20 + 8,7 \cdot A$ (Жук, 1989₁₋₂), а вклад радиогенной составляющей в наблюдаемый поток для различных блоков земной коры антеклизы изменяется от 30 до 50 %. Аномалии низкого ТП в пределах Волыно-Оршанско-Крестцовского палеопрогиба (Тектоника Белоруссии, 1976) могут быть в значительной степени связаны с эрозией верхней части кристаллического фундамента в период образования локальных сводных поднятий (Цыбуля, 1984).

Мнения относительно контрастности распределения теплового потока в Припятском прогибе высказывались неоднократно (Богомоллов и др., 1972; Атрощенко, 1975; Цыбуля, Анпилогов, 1977; Цыбуля и др., 1984; Пархомов, 1985; Цыбуля, Левашкевич, 1990). Природу тепловой аномалии в северо-восточной части прогиба исследователи объясняют разными причинами: восходящим движением подземных вод, рефракцией теплового потока в соляно-купольных структурах, неотектоническими движениями и разломной тектоникой. По результатам моделирования (Пархомов, 1985; Козел, 1989), положительная аномалия теплового потока в северо-восточной части Припятского прогиба имеет глубинное происхождение и генетически связана с Северо-Припятским краевым разломом, который сохраняет активность до настоящего времени (Москвич и др., 1989). Несомненно влияние и радиогенной теплогенерации (Цыбуля, Анпилогов, 1977), однако определить ее количественный вклад трудно, поскольку имеются лишь одиночные данные о содержании изотопов урана, тория и калия.

Повышенная плотность потока в Житковичском горсте хорошо согласуется с радиогенной теплогенерацией в гранитоидных породах фундамента – до 3,7 мкВт/м³. Ей соответствует повышенный ТП (42–60 мВт/м²), в Микашевичском горсте – 0,5–1,2 мкВт/м³ и 21–24 мВт/м² соответственно.

В пределах Подляско-Брестской впадины радиогенная теплогенерация в приповерхностных частях фундамента изменяется от 1,2 до 4 мкВт/м³ (гранитоиды, плагиогнейсы, гранодиориты). Ей соответствует положительная аномалия теплового потока более 50 мВт/м² (Цыбуля и др., 1988; Жук и др., 1989) по направлению к Луковско-Ратновскому горсту значения потока снижаются до 40 мВт/м² (Бурьянов и др., 1985), что можно объяснить как наличием мантийного абиссолита, частично внедренного в земную кору с малой теплогенерацией, так и разгрузкой подземных вод с горста в центральную часть впадины.

ВЛИЯНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Из практики известно, что нисходящая фильтрация подземных вод в районе скважины отражается в виде вогнутой формы термограммы, тогда как восходящая фильтрация регистрируется в виде выпуклой кривой (рис. 5). Направление инфильтрации показано стрелкой вниз, а восходящей фильтрации – стрелкой вверх. Термограмма, представленная прямой линией, соответствует однородной толще отложений в случае отсутствия вертикальной фильтрации ($V = 0$). На рис. 5 показан идеальный случай, когда скважина вскрыла однородную толщу пород с неизменным коэффициентом теплопроводности, а ствол скважины находился в тепловом равновесии с массивом горных пород перед началом геотермических исследований.

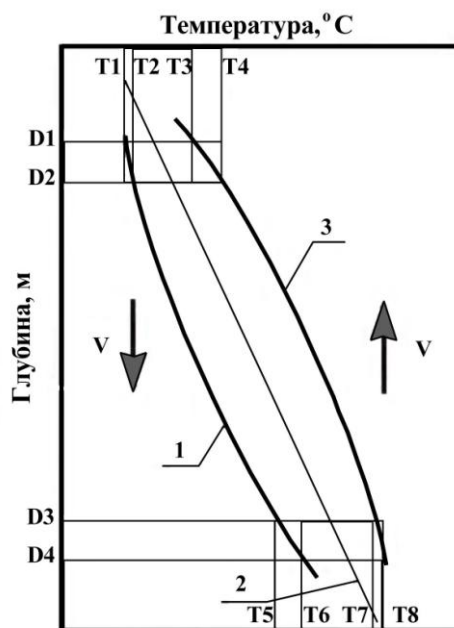


Рис. 5. Вид термограмм при наличии инфильтрации (1), восходящей фильтрации (3) и при отсутствии фильтрации (2) для однородной толщи отложений. Вектор V изображает направление и скорость.

Одним и тем же глубинам D1 и D2 соответствуют температуры T1 и T2 на вогнутой термограмме (наличие инфильтрации) и T3 и T4 – на выпуклой термограмме (случай восходящей фильтрации). Очевидно, что и значения температуры и геотермического градиента для одинакового интервала D1–D2 будут разными. Более низкие значения разности температуры на границах интервала и геотермического градиента в верхней части геологического разреза будут соответствовать вогнутой термограмме, а более высокие – выпуклой кривой.

В нижней же части разреза одним и тем же глубинам D3 и D4 соответствуют температуры T5 и T6 на вогнутой термограмме (наличие инфильтрации) и T7 и T8 – на выпуклой термограмме (случай восходящей фильтрации). Очевидно, что и значения разности температуры и геотермического градиента в интервале D3–D4 разные. Однако теперь более низкие значения геотермического градиента будут соответствовать выпуклой термограмме, а более высокие – вогнутой кривой.

Влияние подземных вод наиболее существенно сказывается лишь в верхних частях платформенного чехла в зоне интенсивного водообмена, а также в наиболее приподнятой трещиноватой части кристаллического фундамента, где выявлены пресные воды. В случае преобладания инфильтрации интервальные значения потока (см. табл.) увеличиваются с глубиной. В зонах же разгрузки подземных вод в долины рек плотность теплового потока убывает с глубиной.

Основные аномалии низких значений температуры (см. рис. 2) и плотности теплового потока (см. рис. 3) соответствуют Белорусской антеклизе и Оршанской впадине. В последней подавляющее большинство изученных скважин завершено в зоне распространения пресных вод. На обеих структурах верхняя часть платформенного чехла промыта инфильтрационными водами. В центральной части Белорусской антеклизы они выявлены и на трещиноватых участках кристаллического фундамента (Богомолов, Шпаков, 1974). Приведенные данные могут быть одним из объяснений существования аномалий низких значений температуры и наблюдаемой плотности теплового потока в пределах Белорусской антеклизы и Оршанской впадины, наряду с низкой радиогенной теплогенерацией.

Результаты изучения распределения температуры на глубине 100 м и плотности теплового потока в пределах Беларуси показывают, что геотермическое поле тесно связано как с особенностями глубинного строения и эволюции блоков земной коры, так и

с фильтрацией подземных вод. Значительную роль при этом играет распределение радиогенной теплогенерации в приповерхностных частях фундамента с направлением и интенсивностью циркуляции флюидов прежде всего в верхней части платформенного чехла, рефракцией потока в соляно-купольных структурах и другими факторами.

Авторы благодарят профессора Г.И. Каратаева за критические замечания, высказанные при чтении рукописи.

Работа выполнена частично в рамках гранта БРФФИ № X06Б-002/2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- АТРОЩЕНКО П.П. Геотермические условия северной части Припятской впадины. Мн., 1975. 104 с.
- БОГОМОЛОВ Г.В., ЛЮБИМОВА Е.А., ЦЫБУЛЯ Л.А., КУТАСОВ И.М., АТРОЩЕНКО П.П. Тепловой поток в Припятской впадине // Изв. АН БССР. Сер. физ.-мат. наук. 1970. № 2. С. 97–103.
- БОГОМОЛОВ Г.В., ПРОТАСЕНЯ Д.Г. Белорусская ССР // Термальные воды СССР и вопросы их теплоэнергетического использования. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 27–33.
- БОГОМОЛОВ Г.В., ЦЫБУЛЯ Л.А., АТРОЩЕНКО П.П. Геотермическая зональность территории БССР. Мн., 1972. 216 с.
- БОГОМОЛОВ Г.В., ШПАКОВ О.Н. Гидрогеология Белорусского кристаллического массива. Мн., 1974. 105 с.
- БОГОМОЛОВ Ю.Г. Данные о тепловом режиме земной коры юго-запада БССР // Докл. АН БССР. 1970. Т. XIV, № 1. С. 57–60.
- БУРЬЯНОВ В.Б., ГОРДИЕНКО В.В., ЗАВГОРОДНЯЯ О.В. и др. Геофизическая модель тектоносферы Украины. Киев, 1985. 212 с.
- ВЕРИШКО Ф.С., ШИТЦ В.А. Глубинное строение Центрально-Белорусского массива // Тектоника и палеогеография запада Восточно-Европейской платформы. Мн., 1981. С. 100–109.
- ГОРДИЕНКО В.В., ЗАВГОРОДНЯЯ О.В. Определения теплового потока на Восточно-Европейской платформе // Докл. АН УССР. Сер. Б. Геол., геохим. и биол. науки. 1985. № 2. С. 10–13.
- ЖУК М.С. Геотермическая характеристика земной коры Белорусской антеклизы и смежных областей // Геотермия и ее применение в региональных и поисково-разведочных исследованиях. Свердловск, 1989₁. С. 55.
- ЖУК М.С. Тепловой поток и радиогенная теплогенерация пород фундамента Белорусской антеклизы // Докл. АН БССР. 1989₂. Т. 33, № 1. С. 71–74.
- ЖУК М.С., ЗУЙ В.И., КОЗЕЛ В.П. Тепловой поток Подляско-Брестской впадины и сопредельных структур // Докл. АН БССР. 1989. Т. 33, № 3. С. 257–260.
- ЖУК М.С., КАПОРА М.С. Гидрогеотермические условия осадочного чехла восточного склона Белорусской антеклизы // Сейсмологические и геотермические исследования на западе СССР. Мн., 1993. С. 165–177.
- ЖУК М.С., МАКАРЕНКО В.С., ЦАЛКО П.Б. Геотермические условия южной части Припятского прогиба // Докл. АН Беларуси. 1993. Т. 37, № 4. С. 109–113.
- ЗУЙ В.И. Температура квазинейтрального слоя и геотермические аномалии Оршанской впадины // Літасфера. 2004. № 1 (20). С. 156–159.
- ЗУЙ В. Тепловой поток и геотермические аномалии Оршанской впадины // Проблемы водных ресурсов, геотермии и геоэкологии: Матер. Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию со дня рождения академика Г.В. Богомолова: В двух томах. 2005. Т. 1. С. 259–261.
- ЗУЙ В.И. Электромоделирование процессов теплового воздействия на нефтяной пласт. Мн.: Наука и техника, 1984. 144 с.
- ЗУЙ В.И., ВЕСЕЛКО А.В., КОЗЕЛ В.П., ПАРХОМОВ М.Д., ЖУК М.С. Тепловое поле // Глубинное строение и динамика земных недр территории Белоруссии / Под ред. Р.Г. Гарецкого, Ж.П. Хотько, Г.И. Каратаева и др. Мн., 1991. С. 91–118.
- ЗУЙ В.И., ЖУК М.С., КОЗЕЛ В.П. Каталог теплового потока Белоруссии // Сейсмологические и геотермические исследования на западе СССР. Мн., 1993. С. 220–229.
- ЗУЙ В.И., УРБАН Г.И., ВЕСЕЛКО А.В., ЖУК М.С. Геотермические исследования в Калининградской области и Литовской ССР // Сейсмологические и геотермические исследования в Белоруссии. Мн., 1985. С. 88–94.
- КАРТА крышталічнага фундамента // Нацыянальны атлас Беларусі. Мн., 2002. С. 41.
- КОЗЕЛ В.П. Численная модель геотермической аномалии Припятского прогиба // Актуальные проблемы геофизики. М., 1989. С. 50–59.
- ЛОСЕВА Е., ЗУЙ В., АКСАМЕНТОВА Н. Радиогенная теплогенерация пород главных структурных зон и интрузивных массивов кристаллического фундамента Беларуси // Проблемы водных ресурсов, геотермии и геоэкологии: Матер. Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию со дня рождения академика Г.В. Богомолова. Минск, 1–3 июля 2005 г. Т. 1. Мн., 2005. С. 270–272.
- МАЙОРОВИЧ Я., ПЛЕВА С. Изучение теплового потока в Польше и решение тектонофизических задач // Тепловое поле Европы. М., 1982. С. 261–276.
- МОСКВИЧ В.А., ПАРХОМОВ М.Д., КОЗЕЛ В.П. Геотермическая аномалия зоны активного разлома // Активные разломы – методы их изучения, морфология, кинематика и геодинамическое значение. М.–Иркутск, 1989. С. 35.
- ПАЛЕОТЕКТОНИКА Белоруссии. Мн.: Наука и техника, 1983. 184 с.
- ПАРХОМОВ М.Д. Тепловой режим Припятского прогиба // Сейсмические и геофизические исследования в Белоруссии. Мн., 1985. С. 124–130.
- ПРОТАСЕНЯ Д.Г. Некоторые закономерности геотермики глубоких частей Припятского прогиба // Докл. АН БССР. 1962₁. Т. 6, № 1. С. 49–62.

- ПРОТАСЕНЯ Д.Г. О некоторых вопросах гидро- и термодинамики Припятского грабена // Материалы конференции молодых ученых АН БССР. Мн., 1962₂. С. 193–199.
- СМЫСЛОВ А.А., МОИСЕЕНКО У.И., ЧАДОВИЧ Г.З. Тепловой режим и радиоактивность Земли. Л., 1979. 191 с.
- СТАНКЕВИЧ Р.А. Артезианские воды Бреста и их использование. Мн., 2004. 184 с.
- ТЕКТОНИКА Белоруссии / Под ред. Р.Г. Гарецкого. Мн., 1976. 200 с.
- УРБАН Г.И., БЕЛЯШОВ А.В. Тепловой поток в районе Жлобинского и Уваровичского полей диатрем // Літасфера. 2003. № 2 (19). С. 95–102.
- УРБАН Г.И., ЦЫБУЛЯ Л.А. Тепловой поток Балтийской синеклизы. М.: ИФЗ РАН, 2004. 158 с.
- ХОДЫРЕВА Э.Я. Кондуктивные и конвективные тепловые потоки Припятского нефтегазоносного бассейна // Экспресс-информация. Сер. Нефтегазовая геология и геофизика. Отечественный опыт. Вып. 7. М., 1987. С. 14–17.
- ЦЫБУЛЯ Л.А. Тепловой поток и геотермическое районирование западной части Восточно-Европейской платформы // Докл. АН БССР. 1984. Т. 28, № 2. С. 166–169.
- ЦЫБУЛЯ Л.А., АНПИЛОГОВ А.П. К вопросу неоднородности теплового поля Припятского прогиба // Докл. АН БССР. 1977. Т. 21, № 4. С. 339–341.
- ЦЫБУЛЯ Л.А., ЖУК М.С. Геотермическая характеристика осадочных отложений и тепловой поток в районе г. Минска // Докл. АН БССР. 1981. Т. 25, № 1. С. 66–68.
- ЦЫБУЛЯ Л.А., ЖУК М.С., КОЗЕЛ В.П. Тепловой поток Полесской седловины и Микашевичско-Житковичского выступа // Белоруссия: проблемы региональной геологии. Мн., 1986. С. 167–172.
- ЦЫБУЛЯ Л.А., ЖУК М.С. Тепловой поток Белорусской антеклизы // Докл. АН БССР. 1985. Т. 29, № 8. С. 731–734.
- ЦЫБУЛЯ Л.А., ЛЕВАШКЕВИЧ В.Г. Тепловой поток в Припятском прогибе и причины его неоднородности // Геологический журнал. 1990. № 4. С. 19–26.
- ЦЫБУЛЯ Л.А., ЛЮСОВА Л.Н., СМЕРНОВА Е.В. Тепловой поток в Припятском прогибе и Балтийской синеклизе (Калининградская область) // Методика и результаты геолого-геофизических нефтепоисковых исследований в Припятском прогибе. Мн., 1984. С. 102–180.
- ЦЫБУЛЯ Л.А., ПАРХОМОВ М.Д., ЦАЛКО П.Б., ЖУК М.С., КОЗЕЛ В.П. Результаты геотермических исследований в скважине Осташковичи 123 Припятского прогиба // Сейсмологические и геотермические исследования в Белоруссии. Мн., 1985. С. 100–105.
- ЦЫБУЛЯ Л.А., УРБАН Г.И., КОЗЕЛ В.П. Тепловой поток в Подляско-Брестской впадине и его геологическая интерпретация // Геологический журнал. 1988. № 5. С. 72–76.
- ЦЫБУЛЯ Л.А., УРБАН Г.И. Тепловой поток в Волыньско-Оршанском прогибе // Докл. АН БССР. 1984. Т. 28, № 9. С. 843–846.
- BOGOMOLOV G.V., BOGOMOLOV Yu.G., ZUI V.I., TSYBULYA L.A. Geothermal Investigations on the Territory of Byelorussia // Geothermics and Geothermal Energy / Eds. V. Cermak and R. Haenel. Stuttgart, 1982. P. 101–105.
- HURTIG E. (Editor-in-chief). Geothermal Atlas of Europe. Geographisch-Kartographische Anstalt Gotha. (Explanatory Note and 36 maps). 1991/1992.
- JESSOP A.M., HOBART M.A., SCLATER J.G. The World Heat Flow Data Collection - 1975. Geothermal Service of Canada. Geothermal Series 5. Ottawa, 1976.
- SAFANDA J., SZEWCZYK J., MAJOROWICZ J. Geothermal evidence of very low glacial temperatures on a rim of the Fennoscandian ice sheet // Geophysical Research Letters. 2004. Vol. 31. P. 1–4.
- SLIAUPA S., RASTENIENE V. Heat flow and heat production in the crystalline basement of Lithuania // Geologija. 2000. № 31. S. 24–34.
- ZHUK M.S., TSALCO P.B., ZUI V.I. Heat flow of the Pripyat Trough // Літасфера. 2004. № 1 (20). С. 122–130.
- ZUI V.I. Anomalies of the terrestrial temperature field of Belarus // Lithosphere. 2004. № 2 (21). P. 117–125.

Рецензент Г.И. Каратаев

Поступило 12.07.06